



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112014025383-8 B1**



**(22) Data do Depósito: 11/04/2013**

**(45) Data de Concessão: 23/11/2021**

**(54) Título:** MÉTODO PARA PRODUZIR UM REFORÇO DE METAL, E, REFORÇO DE METAL

**(51) Int.Cl.:** B23P 15/04; F01D 5/14; F04D 29/02; F04D 29/32; B23K 20/02; (...).

**(30) Prioridade Unionista:** 19/04/2012 FR 1253595.

**(73) Titular(es):** SNECMA.

**(72) Inventor(es):** JEAN-MICHEL FRANCHET; GILLES KLEIN; GILBERT LECONTE; DOMINIQUE MAGNAUDEIX.

**(86) Pedido PCT:** PCT FR2013050785 de 11/04/2013

**(87) Publicação PCT:** WO 2013/156711 de 24/10/2013

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 10/10/2014

**(57) Resumo:** MÉTODO PARA PRODUZIR UM REFORÇO DE METAL, E, REFORÇO DE METAL Método para produzir um reforço de metal para proteger uma borda dianteira de uma pá de compressor de material compósito, o método caracterizado pelo fato de que ele envolve as etapas de: - criar um núcleo (3) que tem o formato da cavidade interna do reforço, - criar um inserto (7) feito de uma liga de uma dureza maior do que aquela do reforço, - conformar chapa de metal por estampagem com a criação, a montante de dito núcleo, de uma cavidade (6) entre as chapas de metal cuja cavidade é capaz de aceitar dito inserto, - posicionar ditas chapas em torno de dito núcleo (3) com o inserto (7) colocado em dita cavidade (6) e solidarizar o conjunto, - criar um vácuo e fechar o conjunto por soldagem, - consolidar por prensagem isostática a quente, - cortar o conjunto para extrair o núcleo (3) e separar o reforço, - criar o perfil externo do reforço por uma operação de usinagem final que revela o material do inserto (7).

“MÉTODO PARA PRODUZIR UM REFORÇO DE METAL, E, REFORÇO DE METAL”

[0001] O campo da presente invenção é aquele da fabricação de peças de metal e mais especificamente aquele da fabricação de bordos de ataque ou bordos de fuga em titânio para a indústria aeronáutica, tais como bordos de ataque para pás de rotor de motor de turbina, com uma corda larga, que são feitas de material compósito.

[0002] Por razões de peso e custo, as pás de rotor de motores de turbojato são hoje em dia feitas principalmente de um material compósito. Estas peças, que são submetidas a altos níveis de tensão mecânica, devido à sua velocidade de rotação e à carga aerodinâmica que elas suportam, devem também resistir a quaisquer impactos provenientes de partículas ou corpos estranhos que podem penetrar no fluxo de ar. Por esta razão, elas são protegidas no seu bordo de ataque e/ou no seu bordo de fuga por uma peça de metal que cobre suas extremidades e é ligada ao material compósito da lâmina.

[0003] A gama de fabricação correntemente usada para bordos de ataque feitos de titânio para pás de rotor de material compósito é onerosa e complexa para implementar, o que leva a custos significantes. Isto é porque ela é principalmente baseada em operações de conformação a quente, que requerem equipamento que suporta as temperaturas usadas. Ela também requer um número significativo de operações de usinagem a serem conduzidas, tanto no estágio das peças intermediárias quanto no estágio final de produção.

[0004] Além disso, é necessário resolver o problema da resistência à erosão do bordo de ataque produzido desta maneira. Várias soluções foram imaginadas para isto, tais como aquela que consiste em formar uma estrutura de duas camadas de metal ligadas uma à outra. Nesse caso, uma primeira camada é produzida a partir de uma liga à base de titânio que possibilita a deformação do bordo de ataque por impacto a ser acomodado, e uma segunda

camada é produzida a partir de uma liga à base de níquel para proteger o bordo de ataque contra erosão. Esta solução pode ser contemplada apenas no caso de formatos simples para o reforço de bordo de ataque, para quais formatos a peça pode ser obtida simplesmente dobrando chapas de metal finas. Para reforços com um formato complexo, a gama de fabricação para um reforço feito de uma liga à base de níquel vai ser muito complicada para implementar e a peça vai ser de produção cara.

[0005] Por fim, por razões de peso e resistência mecânica, estes bordos de ataque ou de fuga, que são geralmente feitos de titânio, são relativamente finos. Dada esta finura, o uso de um método de fabricação que inclui reunir chapas de metal via um processo de conformação superplástica e ligação difusão (SPFDB para Superplastic Forming and Diffusion Bonding) foi naturalmente proposto. Um tal método é descrito no pedido de patente da requerente EP 1574270.

[0006] Porém, é só com dificuldade que este método permite que o formato interno da cavidade seja controlado e, em particular, ele restringe as possibilidades para uma união ótima das chapas de metal na extremidade da cavidade. Para remediar isto, a requerente concebeu um método para fabricar bordos de ataque ou bordos de fuga de titânio que usa um núcleo sobre o qual chapas de titânio são soldadas uma à outra e aplicadas em torno do núcleo por prensagem isostática a quente. Este método era o objeto do pedido de patente publicado sob o número FR 2957545.

[0007] Embora este método facilite grandemente a produção de bordos de ataque, em sua forma atual ele não leva em consideração a necessidade, mencionada acima, de reforçar o bordo de ataque a fim de melhorar a resistência da peça de titânio à erosão encontrada durante o uso.

[0008] O objeto da presente invenção é remediar estas desvantagens propondo um método simples e barato para produzir um reforço de titânio mais resistente à erosão para um bordo de ataque ou bordo de fuga de uma pá

de motor de turbina.

[0009] Para este fim, a invenção se refere a um método para produzir um reforço de metal para proteger um bordo de ataque ou bordo de fuga de uma pá de motor aeronáutico feita de material compósito, por estampagem de chapas de metal e soldagem por difusão das mesmas entre si, caracterizado pelo fato de que ele inclui as etapas de:

- produzir um núcleo que tem o formato da cavidade interna do reforço de metal a ser produzido, uma de suas faces reproduzindo o formato interno da face de aspiração do reforço e a outra face reproduzindo o formato interno da face de pressão do reforço;

- produzir um inserto feito de uma liga de uma dureza maior do que aquela do reforço;

- conformar inicialmente as chapas de metal por estampagem a fim de levá-las mais próximas do formato da face de aspiração e face de pressão de dito reforço, com a formação, a montante de dito núcleo, de uma cavidade entre as chapas de metal a qual capaz de receber dito inserto;

- posicionar ditas chapas de metal em torno de dito núcleo com o inserto sendo colocado em dita cavidade e o conjunto sendo solidarizado;

- colocar o conjunto sob vácuo e fechar dito conjunto por soldagem;

- unir o conjunto por prensagem isostática a quente;

- produzir o perfil externo do reforço por uma operação de usinagem final que revela o material do inserto;

- cortar o conjunto para extrair o núcleo e separar o reforço.

[00010] Assim, um reforço com uma ponta endurecida é obtido, que é produzido economicamente, porque esta operação de adicionar um inserto é realizada sem uma operação adicional, em comparação com os métodos da técnica anterior.

[00011] Preferivelmente, o limite elástico para trabalho a frio da liga

usada para o inserto é maior do que aquele do material usado para o reforço.

[00012] Em uma primeira realização, as chapas de metal são feitas de liga de titânio e o inserto é feito de uma liga de titânio selecionada de uma faixa compreendendo Ti5553, Ti10-2-3 ou Ti17.

[00013] Em uma segunda realização, as chapas de metal são feitas de liga de titânio e o inserto é feito de uma liga de titânio intermetálica.

[00014] Vantajosamente, a liga intermetálica é uma liga de titânio-alumínio.

[00015] Em uma terceira realização, as chapas de metal são feitas de liga de titânio e o inserto é feito de uma liga ortorrômbica.

[00016] Vantajosamente, a liga ortorrômbica é uma liga de titânio-alumínio-nióbio.

[00017] A invenção também se refere a um reforço de metal para proteger um bordo de ataque ou bordo de fuga de uma pá de motor aeronáutico feito de material compósito, tendo na sua extremidade a montante um inserto feito de uma liga de uma dureza maior do que aquela do reforço e fixada a dito reforço por soldagem por difusão.

[00018] Vantajosamente, o material do reforço é uma primeira liga de titânio e o material do inserto é uma segunda liga de titânio, cuja dureza e cujo limite elástico para trabalho a frio são maiores do que aqueles de dito reforço.

[00019] Preferivelmente, a liga de titânio do reforço é TA6V e a liga do inserto é selecionada dentre as ligas Ti5553, Ti10-2-3, Ti17, TiAl e Ti2AlNb.

[00020] A invenção vai ser melhor entendida e suas outras finalidades, detalhes, características e vantagens vão se tornar mais claramente aparentes pela leitura da seguinte descrição explicativa detalhada de uma realização da invenção dada como um exemplo puramente ilustrativo e não restritivo, com referência aos desenhos esquemáticos anexos

Nos desenhos:

[00021] - A Fig. 1 é uma vista esquemática de uma etapa de conformar chapas de metal, durante a produção de um reforço para um bordo de ataque por um método de acordo com a técnica anterior.

[00022] - A Fig. 2 é uma vista esquemática de uma etapa de pré-reunir chapas de metal durante a produção de um reforço para um bordo de ataque por um método de acordo com a técnica anterior;

[00023] - A Fig. 3 é uma vista esquemática de uma etapa de unir chapas de metal durante a produção de um reforço para um bordo de ataque por um método de acordo com a técnica anterior.

[00024] - A Fig. 4 é uma vista esquemática da etapa de pré-unir chapas de metal por um método de acordo com uma realização da invenção.

[00025] - A Fig. 5 é uma vista esquemática em corte transversal de um reforço para um bordo de ataque depois da etapa de prensagem HIP de acordo com o método da invenção.

[00026] - A Fig. 6 é uma vista em corte transversal de um reforço para um bordo de ataque de acordo com a invenção, depois de uma operação de usinagem final.

[00027] Com referência à Fig. 1, pode ser vista, em duas etapas, uma operação de conformação a quente de uma chapa 1 de titânio a fim de conferir a ela, sobre uma de suas faces, um formato que corresponde aproximadamente ao formato externo de um núcleo refratário, dito núcleo tendo o formato preciso a ser conferido à cavidade interna do bordo de ataque. Duas chapas de metal são conformadas deste modo em sucessão, uma das quais se destina a se tornar a face de aspiração 1E do bordo de ataque e a outra sua face de pressão 1I.

[00028] Como mostrado, as Fig. 1 a 3 mostram a produção simultânea de dois reforços de bordo de ataque, usando uma propriedade de simetria destas peças.

[00029] A Fig. 2 mostra um núcleo 3, feito de material refratário (ou feito

de uma liga de metal, tal como IN100, que tem um coeficiente de dilatação que é muito diferente daquele do titânio do bordo de ataque), o núcleo sendo circundado por duas chapas de metal 1E e 1I que, como já dito, são pré-conformadas a fim de adaptar para encaixar o núcleo sobre uma grande parte de seu comprimento. Vai ser notado que as duas chapas de metal não são conformadas de modo que elas se encontram, após a união, de modo a se confrontar mutuamente em um ângulo reto na ponta do bordo de ataque, mas que elas terminam em partes que são aproximadamente paralelas e alinhadas ao longo do plano mediano plane do núcleo.

[00030] Conseqüentemente, as duas chapas de metal não encerram exatamente o núcleo sobre que elas vão ser reunidas na ponta do bordo de ataque. Um espaço residual 4 é deixado, que vai ser absorvido durante etapas subsequentes.

[00031] Nesta configuração, as chapas de metal são unidas por soldagem por adesão (não mostrada na figura), e soldagem TIG (soldagem a arco com um eletrodo de tungstênio não consumível, em uma atmosfera inerte), a fim de unir as mesmas entre si e manter as mesmas no lugar sobre o núcleo 3.

[00032] A Fig. 3 mostra, de acordo com a técnica anterior, o resultado de uma etapa de unir duas chapas de metal 1E e 1I, em torno do núcleo refratário, por soldagem por feixe eletrônico (EB). Esta solda é feita ao longo de um cordão 5, paralelo às bordas laterais das chapas de metal, como pode ser visto na Fig. 3, mas também às extremidades transversais da peça (não mostrada na figura).

[00033] A Fig. 4 mostra a etapa de reunir as duas chapas de metal 1E e 1I no caso de um método de acordo com a invenção. Durante a etapa de conformar as chapas de metal, uma deformação de cada chapa foi obtida de modo a criar uma cavidade 6 entre elas no momento de pré-união. Esta cavidade é feita entre o cordão de solda 5 e a ponta frontal do núcleo 3, além do espaço residual 4, em uma posição mais a montante do que o núcleo 3.

Uma posição mais a montante significa uma posição mais para diante em direção ao bordo de ataque. Esta cavidade foi preenchida antes da pré-união por um inserto 7, feito de uma liga mais resistente a erosão do que o metal das chapas de metal.

[00034] A etapa seguinte, a união das chapas de metal por um processo de prensagem isostática a quente (HIP), é similar à que usada na técnica anterior. O processo HIP produz uma deformação das chapas de metal 1E e 1I, que são achatadas contra o núcleo 3 e contra o inserto 7, nos formatos de que as chapas de metal se conformam perfeitamente.

[00035] A Fig. 5 mostra o estado do reforço do bordo de ataque, depois desta operação. O espaço residual 4 foi eliminado e o inserto 7 é circundado na parte frontal do reforço. A linha pontilhada representa o formato desejado do bordo de ataque, que se encaixa perfeitamente dentro do volume obtido no fim desta operação de união.

[00036] A Fig. 6 mostra o reforço de bordo de ataque obtido no fim do método de produção de acordo com a invenção. A peça obtida foi cortada ao longo da linha pontilhada da figura precedente, revelando o metal do inserto 7, e o núcleo 3 foi removido, por técnicas conhecidas de uma pessoa especializada na técnica. O reforço de bordo de ataque está então pronto para ser encaixado numa pá de material compósito, por exemplo, por ligação, a fim de conferir a dita pá a resistência necessária para uma longa vida de serviço em uso.

[00037] A progressão da fabricação de um reforço de bordo de ataque via um método de acordo com uma realização da invenção vai ser agora descrita.

[00038] O princípio do método consiste, como na técnica anterior, em soldagem por difusão de duas chapas de titânio, uma sendo a face de pressão e a outra sendo a face de aspiração, e conformação das mesmas em torno de um núcleo. A operação começa com uma operação de estampagem padrão que leva as chapas de metal em um formato próximo do formato desejado

para o reforço do bordo de ataque. Para isto, um núcleo que tem o formato da cavidade interna do reforço de metal foi preparado previamente, uma de suas faces reproduzindo o formato interno da face de aspiração do bordo de ataque e a outra face reproduzindo o formato interno da face de pressão do bordo de ataque.

[00039] De acordo com a invenção, em primeiro lugar, um inserto 7 é produzido a partir de um material resistente a erosão, e seu perfil é definido para que ele esteja em excesso do volume que é desejado ser obtido para o mesmo na extremidade do bordo de ataque. Ele pode ser obtido por usinagem mas também, mais vantajosamente, por extrusão ou forjamento a fim de minimizar as operações de usinagem. Em segundo lugar, durante a estampagem, uma deformação específica é praticada em cada chapa de metal 1 de modo a criar uma cavidade 6 entre as duas chapas de metal 1E e 1I quando elas são pré-unidas. O volume desta cavidade 6 corresponde àquele do inserto 7 e sua posição se conjuga com a posição desejada na ponta do bordo de ataque a fim de colocar o material resistente a erosão ali.

[00040] A próxima parte do método é similar àquela da técnica anterior, com pré-união das chapas de metal em torno do núcleo 3 e do inserto 7 por uma operação de soldagem por adesão e soldagem TIG, ao longo das bordas laterais das chapas de metal. O conjunto é então colocado em um recinto a vácuo de modo que soldagem por feixe de elétrons pode ser realizada. Um cordão de solda ininterrupto é praticado tanto ao longo das bordas laterais das chapas de metal quanto também sobre suas bordas transversais, o que torna possível circundar completamente o núcleo 3 e o inserto 7 e fechar o conjunto. Assim, o vácuo é mantido entre as chapas de metal 1 e o núcleo 3, e em particular no espaço residual 4 deixado entre as chapas de metal 1E, 1I, a ponta do núcleo 3 e o inserto 7.

[00041] O conjunto formado pelo núcleo 3, o inserto 7 e as duas chapas de metal 1E e 1I sofre então uma operação de prensagem isostática a quente,

conduzida a uma temperatura de aproximadamente 940°C, no caso em questão de uma pá feita de liga de titânio TA6V. Nessa temperatura, o metal é relativamente macio e pode fluir sob a ação da pressão de aproximadamente 1000 bar que é aplicada a ele. As duas chapas de metal se deformam de modo que elas se conformam perfeitamente ao formato do núcleo 3 e aquele do inserto 7, eliminando o espaço residual 4. Ao mesmo tempo, sob o efeito do calor e da pressão, as duas chapas de metal são soldadas uma à outra por difusão e são soldadas ao inserto por difusão.

[00042] A última parte do método inclui uma etapa de remover o material em excesso ao longo das bordas laterais do reforço de bordo de ataque, por uma operação de corte ao longo da linha mostrada como uma linha pontilhada na Fig. 5 e uma operação de usinagem final que possibilita que o bordo de ataque receba o formato externo desejado. Esta operação de usinagem final revela o metal do inserto 7, que é assim colocado na extremidade do reforço do bordo de ataque, onde os problemas de erosão são os mais críticos.

[00043] O conceito da invenção é baseado no princípio de reforçar localmente a ponta do bordo de ataque das pás de rotor de material compósito com uma liga que é mais resistente à erosão do que a liga de titânio de base (geralmente TA6V) usada para o reforço.

[00044] A seleção do material resistente a erosão deve ser tal que este material pode ser soldado por difusão às chapas de metal da face de pressão e da face de aspiração durante a etapa de conformação por prensagem isostática a quente (HIP). Ele deve, portanto ser quimicamente compatível com a liga de titânio das chapas de metal da face de pressão e da face de aspiração e, em particular, ele não deve levar a contaminação mútua das duas ligas. Ele deve também ter uma janela de temperatura soldagem por difusão que é próxima daquela da liga de titânio das chapas de metal a fim de permitir soldagem por difusão entre as duas ligas. Preferivelmente, mas não exclusivamente, a liga do inserto 7 é portanto selecionada para ser à base de titânio por razões de

compatibilidade com a liga das chapas de metal da face de pressão e da face de aspiração. Esta liga deve ser caracterizada por um alto grau de dureza e um alto limite elástico a baixa temperatura, e por esta razão, ela é preferivelmente selecionada na faixa de ligas Ti5553, Ti10-2-3 ou Ti17. Ela pode também ser uma liga intermetálica TiAl ou uma liga ortorrômbica Ti<sub>2</sub>AlNb.

[00045] A invenção foi descrita usando como um exemplo uma pá de rotor e seu bordo de ataque. É claro que ela pode ser usada igualmente também em qualquer pá de motor de turbina, seja esta uma pá de qualquer estágio que for de um compressor ou uma pá de turbina.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para produzir um reforço de metal para proteger um bordo de ataque ou bordo de fuga de uma pá de motor aeronáutico feita de material compósito, por estampagem de chapas de metal (1) e soldagem por difusão das mesmas entre si, caracterizado pelo fato de que inclui as etapas de:

- produzir um núcleo (3) que tem o formato da cavidade interna do reforço de metal a ser produzido, o núcleo (3) compreendendo uma primeira face correspondendo ao formato interno da face de aspiração do reforço e uma segunda face correspondendo ao formato interno da face de pressão do reforço;

- produzir um inserto (7) feito de uma liga baseada em titânio de uma dureza maior do que aquela do reforço;

- conformar inicialmente as chapas de metal por estampagem a fim de deixar as chapas mais próximas do formato da face de aspiração (1E) e face de pressão (1I) do reforço, as chapas de metal sendo deformadas, formando uma cavidade (6) para receber o inserto (7) entre a cavidade interna para encaixar o núcleo (3) e a extremidade do reforço, um espaço residual (4) sendo formado entre a cavidade (6) e a cavidade interna;

- posicionar as chapas de metal em torno do núcleo (3) com o inserto (7) sendo colocado na cavidade (6) e o conjunto sendo solidarizado;

- colocar o conjunto sob vácuo e fechar o conjunto por soldagem;

- unir o conjunto por prensagem isostática a quente, de tal modo a soldar por difusão o inserto e as chapas de metal entre si;

- produzir o perfil externo do reforço por uma operação de usinagem final que revela o material do inserto (7);

- cortar o conjunto para extrair o núcleo (3) e separar o reforço.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o limite elástico para trabalho a frio da liga usada para o inserto (7) é maior do que aquele do material usado para o reforço (3).

3. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que as chapas de metal são feitas de liga de titânio e em que o inserto (7) é feita de uma liga de titânio selecionada em uma faixa compreendendo Ti5553, Ti10-2-3 ou Ti17.

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que as chapas de metal são feitas de liga de titânio e em que o inserto (7) é feito de uma liga de titânio intermetálica.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a liga intermetálica é uma liga de titânio-alumínio.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que as chapas de metal são feitas de liga de titânio e em que o inserto (7) é feito de uma liga ortorrômbica.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a liga ortorrômbica é uma liga de titânio-alumínio-nióbio.

8. Reforço de metal para proteger um bordo de ataque ou uma bordo de fuga de uma pá de motor aeronáutico feita de material compósito, produzido pelo método como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 7, o reforço de metal caracterizado pelo fato de que tem um inserto (7) aparecendo na parte frontal do reforço, feito de uma liga de titânio de uma dureza maior do que aquela remanescente do reforço e fixado ao remanescente do reforço por soldagem por difusão.

9. Reforço, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o material do reforço é uma primeira liga de titânio e o material do inserto é uma segunda liga de titânio, cuja dureza e limite elástico para trabalho a frio são maiores do que aqueles do reforço.

10. Reforço, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a liga de titânio do reforço é TA6V e a liga do inserto (7) é selecionada dentre as ligas Ti5553, Ti10-2-3, Ti17, TiAl ou Ti2AlNb.

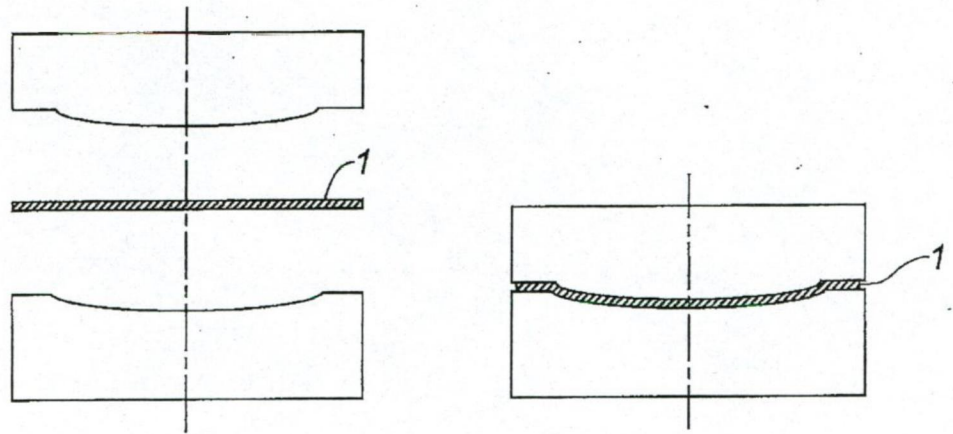


Fig. 1

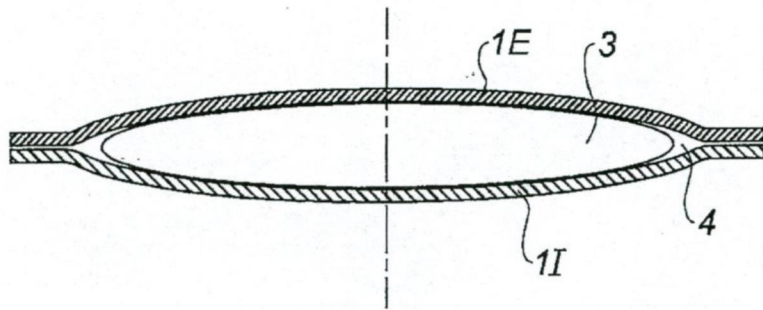


Fig. 2

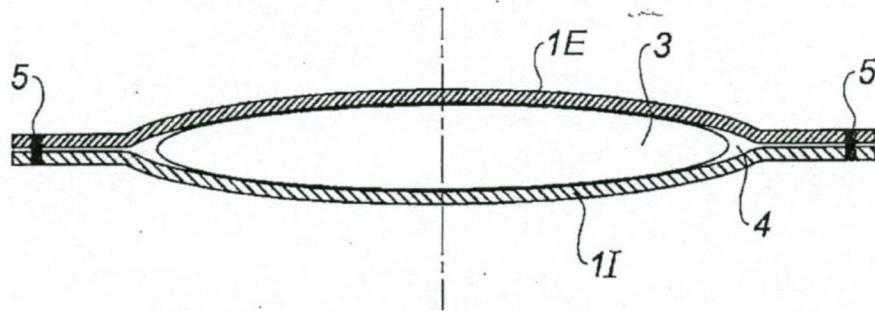


Fig. 3

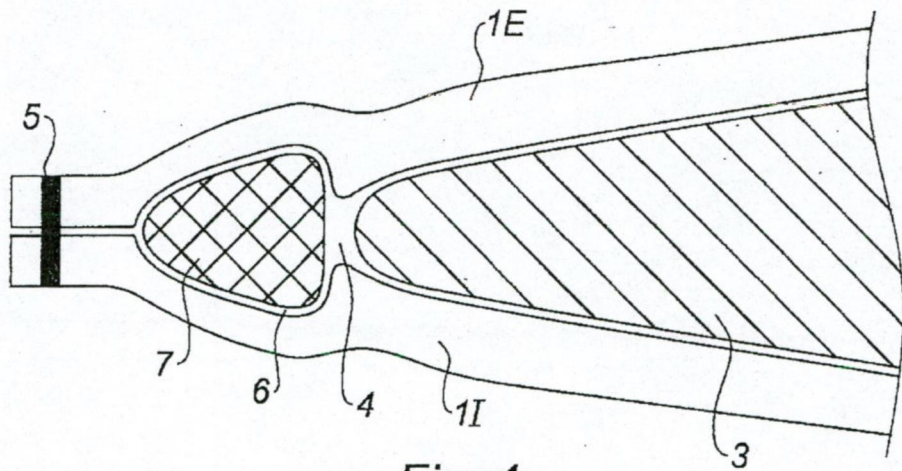


Fig. 4

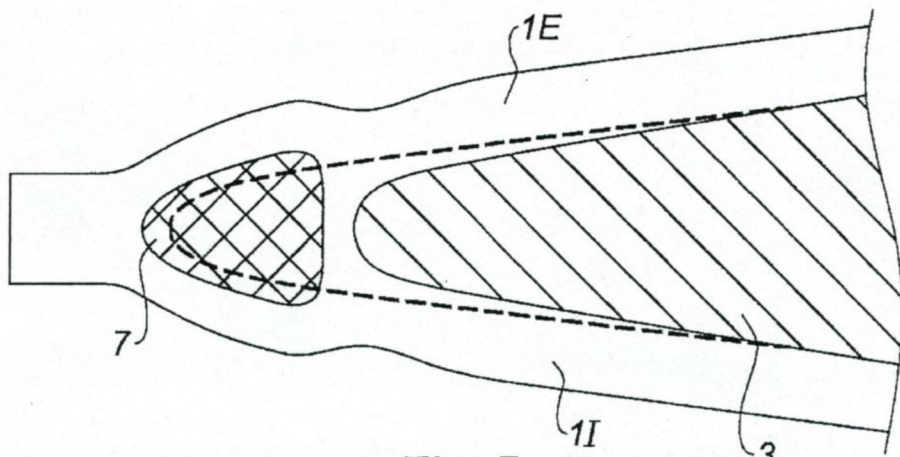


Fig. 5

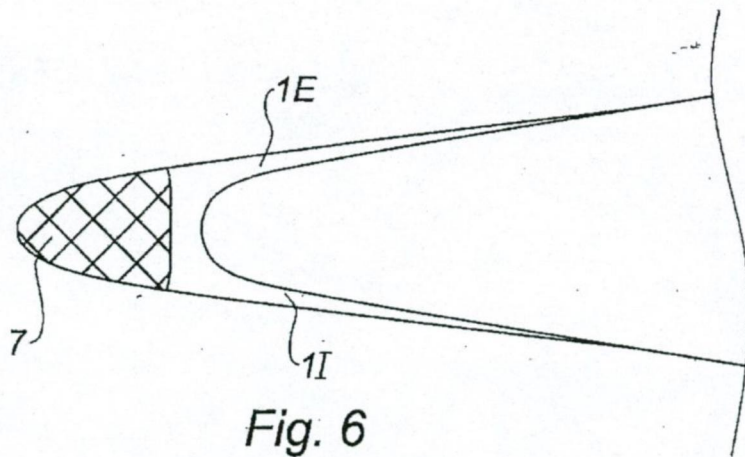


Fig. 6